

FIELD EFFECT TRANSISTOR

Patent number: JP2004063975
Publication date: 2004-02-26
Inventor: KOBASHI MASAHIRO; WATANABE AKIRA
Applicant: MITSUBISHI CHEM CORP
Classification:
- International: *H01L21/336; H01L29/786; H01L51/00; H01L21/02; H01L29/66; H01L51/00; (IPC1-7): H01L29/786; H01L21/336; H01L51/00*
- european:
Application number: JP20020223017 20020731
Priority number(s): JP20020223017 20020731

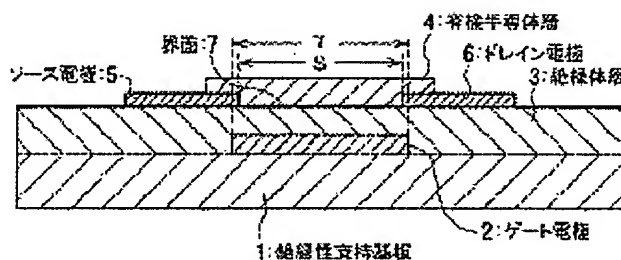
Report a data error here

Abstract of JP2004063975

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an field effect transistor that is formed of organic semiconductor which has high mobility, a high ON-state current, a low leakage current, and a high ON/OFF ratio.

SOLUTION: An insulating layer 3, a gate electrode 2 and an organic semiconductor layer 4 which are separated from each other by the insulating layer 3, and a source electrode 5 and a drain electrode 6 which are both formed so as to come into contact with the organic semiconductor layer 4, are formed on an insulating support substrate 1 for the formation of the field effect transistor. An interface 7 between the insulating layer 3 and the organic semiconductor layer 4 is set to have an average roughness of 50 nm or below, so that disturbances are restrained from occurring in the arrangement of organic semiconductor molecules near the interface 7 where the induced electric charge is moved, and thus the field effect transistor having high mobility, a high ON-state current, a low leakage current, and a high ON/OFF ratio can be realized.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-63975

(P2004-63975A)

(43) 公開日 平成16年2月26日(2004.2.26)

(51) Int. Cl. 7

F1

テーマコード(参考)

H01L 29/786

H01L 29/78 618B

5F110

H01L 21/336

H01L 29/78 626C

H01L 51/00

H01L 29/78 618Z

H01L 29/78 617T

H01L 29/28

審査請求 未請求 請求項の数 13 OL (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願2002-223017(P2002-223017)

(22) 出願日

平成14年7月31日(2002.7.31)

(71) 出願人 000005868

三菱化学株式会社

東京都港区芝五丁目33番8号

(74) 代理人 100086911

弁理士 重野 剛

(72) 発明者 小橋 昌浩

神奈川県横浜市青葉区鶴巻田町1000番

地 三菱化学株式会社内

(72) 発明者 横山 朗

茨城県稲敷郡阿見町中央八丁目3番1号

三菱化学株式会社内

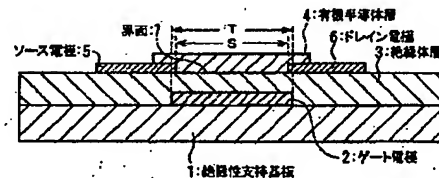
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電界効果トランジスタ

(57) 【要約】

【課題】有機半導体を用いた電界効果トランジスタであって、より高い移動度と、高いon電流及び低いリーク電流と、高いon/off比とを有する電界効果トランジスタを提供する。

【解決手段】絶縁体層3と、この絶縁体層3により隔離されたゲート電極2及び有機半導体層4と、この有機半導体層4に接するように設けられたソース電極5及びドレイン電極6を、絶縁性支持基板上1に有する電界効果トランジスタ。絶縁体層3と有機半導体層4との界面7の平均粗さを50nm以下とすることにより、誘起電荷が移動する該界面近傍の有機半導体分子の配列の乱れを効果的に抑制し、より高い移動度と、高いon電流及び低いリーク電流と、高いon/off比とを実現する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】

絶縁体層と、該絶縁体層により隔離されたゲート電極及び有機半導体層と、該有機半導体層に接するように設けられたソース電極及びドレイン電極と、絶縁性支持基板とを有する電界効果トランジスタにおいて、該絶縁体層と該有機半導体層との界面の平均粗さが50nm以下であることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項2】

請求項1において、前記ゲート電極が前記絶縁性支持基板上に設けられており、該ゲート電極上に絶縁体層を介して有機半導体層が設けられていることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項3】

請求項2において、前記ゲート電極の前記絶縁体層側の表面平均粗さが50nm以下であることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項4】

請求項1ないし3のいずれか1項において、前記ソース電極及びドレイン電極が前記絶縁体層に接していることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項5】

請求項1ないし3のいずれか1項において、前記ソース電極及びドレイン電極が前記有機半導体層上に設けられていることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項6】

請求項1において、前記ソース電極及びドレイン電極が前記絶縁性支持基板上に設けられていることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項7】

請求項1ないし6のいずれか1項において、前記絶縁性支持基板の構成材料が、ガラス、プラスチック、及び石英よりなる群から選択されることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項8】

請求項7において、前記絶縁性支持基板が、ポリエステル、ポリカーボネート、ポリイミド、アモスファスポリオレフィン、ポリエーテルスルホン、及びエポキシ樹脂よりなる群から選択されるプラスチック基板であることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項9】

請求項1ないし8のいずれか1項において、前記有機半導体層におけるソース電極—ドレイン電極方向の電気伝導度が 10^{-4} S/cm以下、 10^{-12} S/cm以上であることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項10】

請求項1ないし9のいずれか1項において、前記有機半導体層における電界効果移動度、ソース電極—ドレイン電極方向の電気伝導度、及び電荷素量に基いて求められ

たキャリア密度が 10^7 cm $^{-3}$ 以上、 10^{18} cm $^{-3}$ 以下であることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項11】

請求項1ないし10のいずれか1項において、前記有機半導体層における電界効果移動度の室温以下での温度依存性から求められる電荷移動に要する活性化エネルギーが0.2 eV以下であることを特徴とする電界効果トランジスタ。

10 【請求項12】

請求項1ないし11のいずれか1項において、前記絶縁体層における比誘電率が2.0以上であることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【請求項13】

請求項1ないし12のいずれか1項において、前記絶縁体層における電気伝導度が 10^{-12} S/cm以下であることを特徴とする電界効果トランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、有機半導体を用いた電界効果トランジスタに関する。

【0002】

【従来の技術】

電界効果トランジスタは、バイポーラトランジスタと並んで重要なスイッチ、増幅素子として広く利用されている。電界効果トランジスタは、半導体材料にソース電極及びドレイン電極と、絶縁体層を介してゲート電極を設けた構造を有する。電界効果トランジスタの動作特性は、用いられる半導体のキャリア移動度 μ 、電気伝導度 σ 、絶縁層の静電容量 C_i 、素子の構成（ソース電極—ドレイン電極間距離 L 及び幅 W 、絶縁層の膜厚 d 等）により決まるが、この中で、半導体材料の特性としては、高い移動度（ μ ）を有するものが良好な特性を示すことになる。

【0003】

現在、半導体材料としてはシリコンが広く用いられている。シリコンに代表される無機半導体は、製造時に300℃以上の高温で処理する必要があることから、基板にプラスチック基板やフィルムを用いることが難しく、かつ製造に多くのエネルギーを必要とするという欠点がある。また、真空での素子作製プロセスを経るため、製造ラインに高価な設備を必要とし、高コストになるという欠点もある。

【0004】

これに対して、有機半導体を用いたトランジスタは、その殆どが無機半導体より低温プロセスで製造することができるため、基板としてプラスチック基板やフィルムを用いることができ、軽量で壊れにくい素子を作製することができる。また、溶液の塗布や印刷法を用いた素子作

製が可能なものもあり、大面積の素子を低コストで製造することが可能である。更に、材料のバリエーションが豊富であり、分子構造を変化させることにより容易に材料特性を根本的に変化させることが可能であるため、異なる機能を組み合わせることで、無機半導体では不可能な機能、素子を実現することも可能である。

【0005】

半導体として有機半導体を用いたトランジスタについて、特開昭61-202467号公報には、導電性高分子、共役高分子を利用したものが記載され、特許2984370号公報には、低分子化合物を利用したものが記載されている。

【0006】

従来の半導体として有機半導体を用いたトランジスタの代表的な構造を図1〜3に示す。

【0007】

図1の電界効果トランジスタにあっては、絶縁性支持基板1上にゲート電極2が設けられ、更にこの上に絶縁体層3及び有機半導体層4が設けられている。この有機半導体層4に接するように、ソース電極5とドレイン電極6が絶縁体層3上に設けられている。この電界効果トランジスタはボトムゲート・ボトムコンタクト型と称される。

【0008】

図2の電界効果トランジスタにあっては、絶縁体層3上の有機半導体層4上にソース電極5とドレイン電極6が設けられている点が図1に示す電界効果トランジスタと異なり、その他は同様の構成とされている。この電界効果トランジスタはボトムゲート・トップコンタクト型と称される。

【0009】

図3に示す電界効果トランジスタにあっては、絶縁性支持基板1上にソース電極5とドレイン電極6が設けられ、絶縁性支持基板1上に有機半導体層4及び絶縁体層3が積層され、絶縁体層3上にゲート電極2が設けられている。この電界効果トランジスタは、トップゲート・ボトムコンタクト型と称される。

【0010】

このような電界効果トランジスタでは、ゲート電極2に電圧が印加されると、有機半導体層4と絶縁体層3の界面近傍における有機半導体層のキャリア密度を変化させて、ソース・ドレイン電極5、6間に流れる電流量を変化させる。

【0011】

また、このような有機半導体を用いた電界効果トランジスタの有機半導体層における電荷輸送現象に対する研究も行われている。例えば、チオフェン環が数個連なったオリゴチオフェンにおいては、絶縁体層に対して分子軸が垂直よりやや傾くようにして立ち、またソース電極・ドレイン電極方向に対してオリゴチオフェンの π 軌道が

互いに相互作用するように配列し、この配列したオリゴチオフェンの分子の層が絶縁体層に対して垂直方向に積み重なってオリゴチオフェンの有機半導体層を形成する(ADVANCED MATERIALS, 第12巻, 第14号, 1046〜1050頁, 2000年)。ゲート電極による誘起電荷はこの相互作用している π 軌道を通してソース電極・ドレイン電極間を移動するため、高い移動度を得るためにはオリゴチオフェン分子間の π 軌道相互作用を強くすることが望ましい。

【0012】

更にまた、このオリゴチオフェン半導体層を用いたボトムゲート・ボトムコンタクト型電界効果トランジスタの作動時には、絶縁体層より上の1個分から2、3個分のオリゴチオフェン分子層において誘起電荷が移動していることが示唆されている(SCIENCE, 第268巻, 第14号, 270〜271頁, 1995年)。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

このように、有機トランジスタの有機半導体層における電荷輸送現象については種々検討され、高い移動度が達成されているものもあるが、絶縁体層や基板、或いは有機半導体の種類により、電界効果トランジスタとしての性能(移動度、リーク電流値、on/off比等)が影響を受け、一定しないという問題があった。

【0014】

本発明者らは、従来の電界効果トランジスタにおけるトランジスタ性能の不安定性について鋭意検討した結果、図1に示すボトムコンタクト型トランジスタ(有機半導体層の下側にソース電極及びドレイン電極が形成された構造)においては、絶縁体層の表面粗さが、この絶縁体層と接する側の有機半導体の分子配列を乱し、更にこの乱れがこの上に積み重なる有機半導体分子各層の配列をも乱すことになること、そして、この配列の乱れは、有機半導体分子間の π 軌道の相互作用を弱くし、誘起電荷移動に悪影響を及ぼす結果となり、トランジスタ性能が損なわれることが判った。

【0015】

また、図3におけるボトムコンタクト型トランジスタにおいては有機半導体層を先に形成するため、後に形成する絶縁体層と接することになる有機半導体層表面の配列の乱れや、絶縁体層を形成した場合に引き起こされる有機半導体層側の配列の乱れが誘起電荷の移動に悪影響を及ぼす結果、トランジスタ性能を阻害する。

【0016】

さらにまた、図2に示すトップコンタクト型トランジスタ(有機半導体層上にソース電極及びドレイン電極が形成された構造)においても、ゲート電極による誘起電荷は絶縁体層と有機半導体層との接する有機半導体層側を移動するため、やはりこの界面の粗さは誘起電荷が移動する有機半導体分子の配列を乱し、誘起電荷移動に悪影

響を及ぼす結果、トランジスタ性能を阻害する。

【0017】

なお、支持基板とゲート電極とを兼ねる高濃度ドーパシリコン基板上に熱成長により SiO_2 絶縁体層を形成した場合には、高濃度ドーパシリコン基板の表面の平坦性から、その上に形成された熱成長 SiO_2 絶縁体層の表面粗さは小さいものと考えられるが、従来において、具体的な表面粗さは特定されておらず、表面粗さと誘電電荷移動との関係は何ら検証されていない（S.C.I.E.N.C.E.、第268巻、第14号、270～271頁、1995年）。

【0018】

有機トランジスタがフレキシブルディスプレイにおけるスイッチング素子として用いられることがBell Lab. Lucent Technologies, PNAS., 98, 4835に開示されている。この有機トランジスタの場合、絶縁性支持基板の表面粗さ、絶縁体層を形成する絶縁体物質やその形成プロセスにより絶縁体層の表面粗さの影響はより重要な問題となると考えられるが、これらについての報告はなされていない。

【0019】

本発明は上記従来の実状に鑑みてなされたものであって、より高い移動度と、高いon電流及び低いリーク電流と、高いon/off比とを達成することができ、かつこれらのトランジスタ性能が安定した有機トランジスタを提供することを目的とする。

【0020】

【課題を解決するための手段】

本発明の電界効果トランジスタは、絶縁体層と、該絶縁体層により隔離されたゲート電極及び有機半導体層と、該有機半導体層に接するように設けられたソース電極及びドレイン電極と、絶縁性支持基板とを有する電界効果トランジスタにおいて、該絶縁体層と該有機半導体層との界面の平均粗さが50nm以下であることを特徴とする。

【0021】

かかる本発明の電界効果トランジスタにあっては、絶縁体層と有機半導体層の接する界面の平均粗さが50nm以下であることにより、有機半導体層における該界面近傍、ひいては層全体における有機半導体分子の配列の乱れが抑制され、高い移動度と高いon電流及び低いリーク電流、高いon/off比が達成される。

【0022】

なお、本発明において、絶縁体層と有機半導体層との界面の平均粗さ(Ra)とは、AFM（原子間力顕微鏡）のタッピングモードにより測定した値である。また、観察する範囲は2 μm 角の間とする。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下に図面を参照して本発明の電界効果トランジスタの実施の形態を詳細に説明する。

【0024】

本発明の電界効果トランジスタは、絶縁体層と、この絶縁体層により隔離されたゲート電極及び有機半導体層と、この有機半導体層に接するように設けられたソース電極及びドレイン電極とを、絶縁性支持基板上に有するものであり、その構造には特に制限はなく、図1に示すボトムゲート・ボトムコンタクト型、図2に示すボトムゲート・トップコンタクト型、図3に示すトップゲート・ボトムコンタクト型などが挙げられる。

【0025】

本発明においては、このような電界効果トランジスタにおいて、絶縁体層3と有機半導体層4とが接する界面7の平均粗さ(Ra)を50nm以下、好ましくは40nm以下、より好ましくは30nm以下、特に好ましくは20nm以下、とりわけ好ましくは10nm以下とする。この界面7の平均粗さは小さい程好ましいが、絶縁体層3と有機半導体層4の成膜方法上の実現性の面からは0.1nm以上であり、通常0.2nm以上、一般的には0.5nm以上である。

【0026】

なお、本発明においては、このように、絶縁体層3と有機半導体層4との界面7の平均粗さ(Ra)を小さくすることにより、ゲート電極2による誘起電荷が移動する領域の有機半導体分子の配列の乱れを防止する。従って、このような平均粗さは絶縁体層3と有機半導体層4との界面7のうち、少なくともゲート電極2に対応する領域において満足されていれば良く、必ずしも該界面7の全面において平均粗さが50nm以下である必要はない。

【0027】

従って、図1のボトムゲート・ボトムコンタクト型電界効果トランジスタにあっては、絶縁体層3と有機半導体層4との界面7のうち、ゲート電極2をこの界面7に向けて投影した投影面部分、即ち図1のTの投影面領域のうちの界面7に重なる部分、即ち図1のSの界面領域が、上述のような平均粗さを満足するものであれば良い。

【0028】

また、図2のボトムゲート・トップコンタクト型電界効果トランジスタにあっては、絶縁体層3と有機半導体層4との界面7のうち、ゲート電極2をこの界面7に向けて投影した投影面部分、即ち図2のTの投影面領域のうちの界面7に重なる部分、即ち図2のSの界面領域が、上述のような平均粗さを満足するものであれば良い。

【0029】

更に、図3のトップゲート・ボトムコンタクト型電界効果トランジスタにあっては、絶縁体層3と有機半導体層4との界面7のうち、ゲート電極2をこの界面7に向け

て投影した投影面部分、即ち図3のTの投影面領域のうちの界面7に重なる部分、即ち図3のTの界面領域が、上述のような平均粗さを満足するものであれば良い。

【0030】

このように、絶縁体層3と有機半導体層4との接する界面の平均粗さを50nm以下とするには、例えば、図1、2のように、絶縁体層3上に有機半導体層4が成膜された電界効果トランジスタの場合には、有機半導体層4が積層成膜される絶縁体層3の上面の表面平均粗さが50nm以下となるようにした後、有機半導体層4を成膜すれば良い。また、図3のように、有機半導体層4上に絶縁体層3が成膜されている電界効果トランジスタの場合には、絶縁体層3が積層成膜される有機半導体層4の上面の表面平均粗さが50nm以下となるようにした後、絶縁体層3を成膜すれば良い。

【0031】

このように絶縁体層3や有機半導体層4の上面の表面平均粗さを50nm以下に制御する方法としては、特に制限はなく、絶縁体層又は有機半導体層の成膜材料、成膜速度等の成膜条件、膜厚等を適宜選択、調整することにより、表面平均粗さの小さい表面平滑な層を形成すれば良い。例えば、後述の実施例に示す如く、絶縁体層の形成材料として光硬化性樹脂を用い、未硬化の塗膜を形成した後、光を照射して光硬化性樹脂を硬化させる方法を採用することができる。また、光を照射する前に、この塗膜上に該光硬化性樹脂との接着性が無く、剥離性が良好な材料よりなる表面平滑な透明板、例えばガラス板を載せ、この状態で塗膜に光を照射して光硬化性樹脂を硬化させる方法を採用すれば、得られる硬化膜の表面には、この板の平滑表面が転写され、更に表面平均粗さの小さい表面平滑な硬化膜を形成することができる。

【0032】

絶縁体層と有機半導体層との界面の平均粗さが、本発明の範囲内か否かを確認する手段としては、電界効果トランジスタを作製する過程で、絶縁体層又は有機半導体層上の平均粗さが50nm以下であることを確認しても良いし、作製されたデバイスから、本発明で着目する界面の上に製膜された上層である絶縁体層又は有機半導体層を、界面の状態を保持しつつ剥離し、その平均粗さを確認しても良い。また、本発明で着目する界面の上に製膜された上層である絶縁体層又は有機半導体層が、例えば1μm以下のような薄膜の場合には、その上層の表面粗さが、本発明で着目する界面の平均粗さをほぼ表すため、この上層の平均粗さを本発明の界面の粗さの目安とすることができる。

【0033】

本発明において、電界効果トランジスタの構成材料自体には特に制限はなく、従来電界効果トランジスタに適用されているものをいずれも好適に用いることができる。

【0034】

絶縁性支持基板の材料としては、絶縁性を示し電界効果トランジスタ及びその上に作成される表示素子、表示パネル等を支持できるものであれば良く、公知のもの、例えばガラス、プラスチック、石英等をいずれでも用いることができ、より具体的には、ポリエステル、ポリカーボネート、ポリイミド、ポリエーテルスルホン、アモルファスポリオレフィン、エポキシ樹脂、ガラス等が挙げられる。中でもポリマー基板が好ましく、強度の点ではポリエステル又はポリカーボネートが好ましく、特に10 はポリエチレンテレフタレート等のポリエステルが好ましい。絶縁性支持基板の厚みは0.05mmから2mmが好ましく、0.1mmから1mmが更に好ましい。

【0035】

ゲート電極、ソース電極、ドレイン電極の構成材料は、導電性を示すものであれば良く、公知のものをいずれでも用いることができ、例えば白金、金、アルミニウム、クロム、ニッケル、銅、チタン、マグネシウム、カルシウム、バリウム、ナトリウム等の金属、InO₂、SnO₂、ITO等の導電性酸化物、樟脳スルホン酸がドーブされたポリアニリン、パラトルエンスルホン酸がドーブされたポリエチレンジオキシチオフェン等のドーブされ良好な電気伝導度を示す導電性高分子、カーボンブラック、金属微粒子、グラファイト粉等がバインダーに分散されてなり良好な電気伝導度を示す導電性複合材料などが挙げられる。

【0036】

ゲート電極、ソース電極、ドレイン電極の形成法としては、真空蒸着法、スパッタ法、塗布法、印刷法、ソルゲル法等が挙げられ、更にそのパターンニング方法としては、フォトリソのバタニングとエッチング液や反応性のプラズマでのエッチングを組み合わせたフォトリソグラフィ法、インクジェット印刷、スクリーン印刷、オフセット印刷、凸版印刷等の印刷法、マイクロコンタクトプリンティング法等のソフトリソグラフィの手法及びこれらの手法を複数組み合わせる手法などが挙げられる。また、レーザーや電子線等のエネルギー線を照射して材料を除去することや材料の導電性を変化させることにより、直接パターンを作製することも可能である。

【0037】

これらゲート電極、ソース電極、ドレイン電極の厚みは0.01μmから2μmが好ましく、0.02μmから1μmが更に好ましい。

【0038】

なお、ソース電極ードレイン電極間距離(チャンネル長さL)は通常100μm以下、好ましくは50μm以下であり、チャンネル幅Wは通常2000μm以下、好ましくは500μm以下であり、L/Wは通常0.1以下、好ましくは0.05以下である。

【0039】

絶縁体層の絶縁体としては、ゲート電極への電流の漏れを防ぎかつ低ゲート電圧で電界効果トランジスタを駆動させることができるように絶縁性に優れかつ比較的大きな比誘電率を持つものであれば公知のものをいずれでも用いることができ、例えばポリメチルメタクリレート等のアクリル樹脂、ポリスチレン、ポリビニルフェノール、ポリイミド、ポリカーボネート、ポリエステル、ポリビニルアルコール、ポリ酢酸ビニル、ポリウレタン、ポリスルホン、エポキシ樹脂、フェノール樹脂等のポリマー及びこれらを組み合わせた共重合体、二酸化珪素、酸化アルミニウム、酸化チタン等の酸化物、窒化珪素等の窒化物、 SrTiO_3 、 BaTiO_3 等の強誘電性酸化物、あるいは、上記酸化物や窒化物、強誘電性酸化物等の粒子を分散させたポリマー膜等が挙げられる。中でもエポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、アクリル樹脂が好ましい。また、絶縁体の前駆物質としてモノマーを塗布した後、光を照射して硬化させることにより絶縁体を形成する光硬化樹脂を用いると、前述の如く、表面平均粗さを容易に所望の小さな値に調節することができる点において好ましい。

【0040】

絶縁体層の形成方法としては、スピンコートやブレードコートなどの塗布法、蒸着法、スパッタ法、スクリーン印刷やインクジェット等の印刷法等、材料の特性に合わせた形成方法を採用することができる。

【0041】

このようにして形成される絶縁体層は、前述の如く、ゲート電極への漏れ電流、電界効果トランジスタの低ゲート電圧駆動に関係することから、室温での電気伝導度が 10^{-12} S/cm 以下、更には 10^{-14} S/cm 以下、比誘電率が2.0以上、更には2.5以上を示すことが好ましい。

【0042】

このような絶縁体層の厚みは $0.1 \mu\text{m}$ から $4 \mu\text{m}$ が好ましく、 $0.2 \mu\text{m}$ から $2 \mu\text{m}$ が更に好ましい。

【0043】

有機半導体層を形成する有機半導体は特に限定されず、 π 共役系の低分子及び高分子であれば公知のものをいずれでも用いることができ、例えばペンタセン、オリゴチオフェン、置換基を有するオリゴチオフェン、ビスジエノチオフェン、置換基を有するジアルキルアントラジチオフェン、金属フタロシアニン、ベンゾボルフィリン、フッ素置換された銅フタロシアニン、 N 、 N' -ジアルキルナフタレン-1, 4, 5, 8-テトラカルボン酸ジイミド置換体、3, 4, 9, 10-ペリレンテトラカルボン酸ジアンハイドライド、 N 、 N' -ジアルキル-3, 4, 9, 10-ペリレンテトラカルボン酸ジイミド、フラーレンなどの π 共役系低分子やレジオレギュラーポリ(3-ヘキシルチオ

エン)に代表されるレジオレギュラーポリ(3-アルキルチオフェン)、ポリ-9, 9'-ジアルキルフルオレンコピチオフェンなどの π 共役系共重合体等の π 共役系高分子が挙げられる。

【0044】

これら π 共役系低分子、高分子のなかでも、有機半導体層を形成した場合、そのソース電極-ドレイン電極方向の電気伝導度が 10^{-4} S/cm 以下、 10^{-12} S/cm 以上を示すものが好ましく、特に 10^{-6} S/cm 以下、 10^{-11} S/cm 以上、とりわけ 10^{-7} S/cm 以下、 10^{-10} S/cm 以上を示すものがより好ましい。更にまた、これら π 共役系低分子、高分子のなかでも、有機半導体層を形成した場合に電界効果移動度とソース電極-ドレイン電極方向の電気伝導度、及び電荷素量から求めたキャリア密度が 10^7 cm^{-3} 以上、 10^{18} cm^{-3} 以下を示すものが好ましく、特に 10^8 cm^{-3} 以上、 10^{17} cm^{-3} 以下を示すものがより好ましい。また、これら π 共役系低分子、高分子のなかでも、有機半導体層を形成した場合に電界効果移動度の室温以下での温度依存性から求められる電荷移動に要する活性化エネルギーが 0.2 eV 以下を示すものが好ましく、特に 0.1 eV 以下を示すものがより好ましい。

【0045】

更にまた、これら π 共役系低分子のなかでも分子長が 40 \AA 以下のものにおいては、該電界効果トランジスタに用いた絶縁体層と同じ絶縁体層上に有機半導体層を形成した場合、層表面に対する法線に対して 60° の角度から入射光を入れて測定した偏光吸収において、これら π 共役系低分子の分子軸方向の遷移モーメントに由来する吸収ピーク強度のp偏光成分とs偏光成分の比であるp偏光成分/s偏光成分が1.5以上、更には2.0以上、特に3.0以上を示す特性を持つものが好ましい。

【0046】

また一方で、分子長が 40 \AA より大きい π 共役系高分子においては、該電界効果トランジスタに用いた絶縁体層と同じ絶縁体層上に有機半導体層を形成した場合、層表面に垂直方向から入射光を入れて測定した偏光吸収において、これら π 共役系高分子の主鎖方向の遷移モーメントに由来する吸収ピーク強度のソース電極-ドレイン電極方向成分とそれに垂直方向成分の比であるソース電極-ドレイン電極方向成分/垂直方向成分が3.5以上、更には4.5以上、特に5.0以上を示す特性を持つものが好ましい。

【0047】

更にまた、これら π 共役系低分子、高分子のなかでも、該電界効果トランジスタに用いた絶縁体層と同じ絶縁体層上に有機半導体層を形成した場合、最隣接分子或いは高分子間の距離が 3.9 \AA 以下、更には 3.85 \AA 以下

下、特に3.8Å以下である特性を示すものが好ましい。

【0048】

このような有機半導体層の膜厚は1 nmから10 μmが好ましく、10 nmから500 nmが更に好ましい。

【0049】

これらの有機半導体を用いた有機半導体層を形成する方法としては、低分子有機半導体の場合には、真空蒸着により絶縁体層又は絶縁性支持基板上に蒸着して形成する方法、溶媒に溶解してキャスト、ディップ、スピンコートなどにより塗布して形成する方法などが挙げられる。高分子有機半導体の場合は、溶媒に溶解してキャスト、ディップ、スピンコートなどにより塗布して形成する方法などが挙げられる。また、目的とする低分子前駆体或いは目的とする高分子前駆体を用いて前述の適切な方法により層形成し、その後加熱処理等により目的とする有機半導体層に変換する方法も挙げられる。またさらに、図3に示すトップゲート・ボトムコンタクト型電界効果トランジスタにおいては前述したように有機半導体層上面の表面平滑性を必要とするため、この場合は特に真空蒸着法においては高真空中で蒸着速度を極力遅くし蒸着する、塗布法においては適宜粘度を調節後に高速回転におけるスピンコート法にて製膜する方法が効果的である。

【0050】

本発明の電界効果トランジスタの基本的な構造は、絶縁体層と、この絶縁体層により隔離されたゲート電極及び有機半導体層と、この有機半導体層に接するように設けられたソース電極及びドレイン電極とを絶縁性支持基板上に有するものであり、その具体的な構造としては図1〜3に示すようなものが挙げられるが、本発明の電界効果トランジスタは、何ら図1〜3に示す構造の電界効果トランジスタに限定されず、更に図1〜3に示される層以外の層が形成されていても良い。

【0051】

例えば、図1、2に示す電界効果トランジスタのように、有機半導体層が表出している電界効果トランジスタにあつては、有機半導体に対する外気の影響を最小限にするために、更にこの上に保護膜を形成しても良く、この場合、保護膜の材料としてはエポキシ樹脂、アクリル樹脂、ポリウレタン、ポリイミド、ポリビニルアルコール等のポリマーや酸化珪素、窒化珪素、酸化アルミニウム等の無機酸化物や窒化物等が挙げられる。保護膜の形成方法としては塗布法や真空蒸着法などが挙げられる。

【0052】

【実施例】

以下、実施例により本発明を更に具体的に説明するが、本発明はその要旨を超えない限り、以下の実施例に限定されるものではない。

【0053】

実施例1

図1に示す構造の電界効果トランジスタを以下の方法により製造する。

【0054】

ITOがコートされたポリエチレンテレフタレートシート（ポリエチレンテレフタレート厚み：約0.1 mm、ITO厚み：約100 nm、Southwall Technologies社製）を絶縁性支持基板及びゲート電極として用い、ITO膜上に光硬化性芳香族アクリレートモノマーをキャスト法により塗布する。この塗布膜上にガラス基板を載せて不活性ガス中で光を照射して光硬化させた後、ガラス板を取り去ることにより、膜厚約1 μmの光硬化性樹脂よりなる絶縁体層を形成する。この光硬化性樹脂はガラス板との接着性が悪いので、ガラス板との接触界面を荒らすことなくガラス板を剥離することができ、ガラス鏡面に近い表面平滑な絶縁体層を形成することができる。この絶縁体層の表面平均粗さをAFMにより測定したところ6 nm程度であり、表面平滑性が著しく良好である。

【0055】

次に、この絶縁体層上に線状マスクを用いてAuを真空蒸着することによりソース電極及びドレイン電極を形成する。形成されたソース電極及びドレイン電極の膜厚は約1500 Åであり、ソース電極-ドレイン電極間距離（チャンネル長L）は約25 μm、チャンネル幅Wは5 mm、L/Wは0.005である。

【0056】

このソース電極-ドレイン電極間の絶縁体層上に、チオフェン6量体（sexithiophene）を蒸着速度4〜5 Å/sの条件で真空蒸着して膜厚約2000 Åの有機半導体層を形成する。

【0057】

このようにして作製されたボトムゲート・ボトムコンタクト型電界効果トランジスタに、空气中、室温で各々電圧を変えてゲート電圧（V_g）を印加し、各ゲート電圧（V_g）下でソース電極-ドレイン電極間の電流（I_D）-電圧（V_D）特性を測定する。ゲート電圧0 Vの時のI_D-V_D特性の線形応答部分から求めた有機半導体（sexithiophene）の電気伝導度は約10⁻⁵〜10⁻⁹ S/cmである。I_D-V_D特性における線形応答領域内のあるV_Dにおける各V_gでのI_Dの値をプロットし、I_D-V_g特性の線形応答部分から求める電界効果移動度μは約0.02〜0.05 cm²/Vsである。

【0058】

【発明の効果】

以上詳述した通り、本発明の電界効果トランジスタによれば、絶縁体層と有機半導体層との接する界面の平均粗さを小さなものとするにより、誘起電荷が移動する

該界面近傍の有機半導体分子の配列の乱れを効果的に抑制し、より高い移動度と、高いon電流及び低いリーク電流と、高いon/off比とを有する電界効果トランジスタを提供することができる。

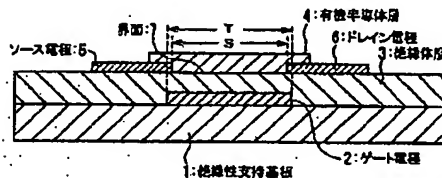
【図面の簡単な説明】

【図1】電界効果トランジスタの構造例を示す断面図である。

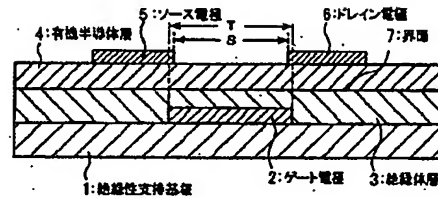
【図2】電界効果トランジスタの構造例を示す断面図である。

【図3】電界効果トランジスタの構造例を示す断面図である。

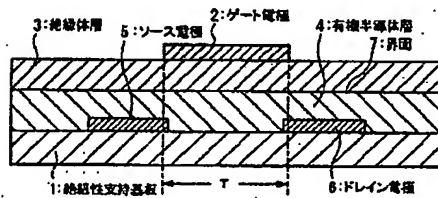
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F110 AA01 AA06 AA07 CC03 CC05 CC07 DD01 DD02 DD03 EE01
 EE02 EE03 EE04 EE07 EE41 EE42 EE43 EE44 FF01 FF02
 FF03 FF05 FF21 FF27 FF28 FF36 GG05 GG06 GG28 GG29
 GG41 GG42 GG60 HK01 HK02 HK03 HK04 HK07 HK31 HK32
 HK33 NN01 NN02 NN22 NN23 NN24 NN27 NN33 NN36

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.